(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. März 2001 (15.03.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/18622 A1

(51) Internationale Patentklassifikation[7]: G05B 19/4103

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/08544

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. September 2000 (01.09.2000)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
199 42 805.0 8. September 1999 (08.09.1999) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **JOHANNES HEIDENHAIN GMBH** [DE/DE]; Postfach 12 60, 83292 Traunreut (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **KOHLER, Frieder** [DE/DE]; Zeller Strasse 5, 83362 Lauter (DE). **FAUSER, Matthias** [DE/DE]; Hinter den Höfen 2a, 30938 Burgwedel (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(national)*: JP, US.

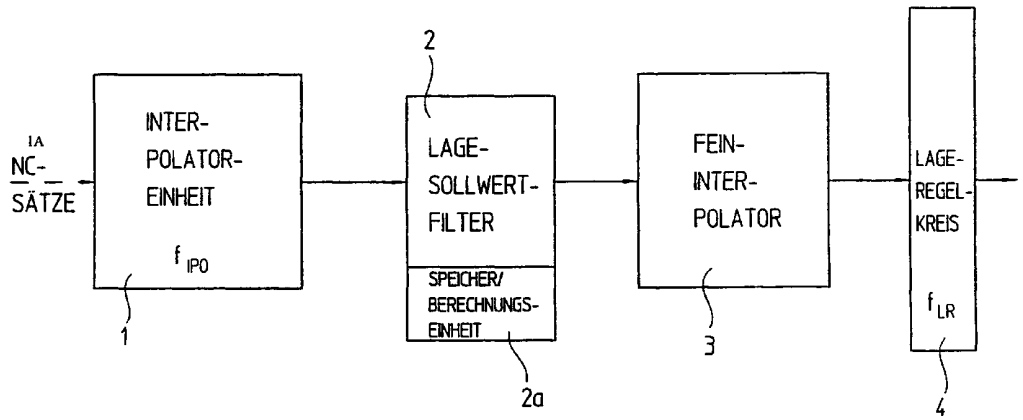
(84) Bestimmungsstaaten *(regional)*: europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht:
— *Mit internationalem Recherchenbericht.*
— *Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen.*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD AND CIRCUITRY FOR PRODUCING NOMINAL POSITION VALUES FOR A CLOSED LOOP POSITION CONTROL OF A NUMERICALLY CONTINUOUS-PATH CONTROLLED MACHINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND SCHALTUNGSANORDNUNG ZUR ERZEUGUNG VON LAGESOLLWERTEN FÜR EINEN LAGEREGELKREIS EINER NUMERISCH BAHNGESTEUERTEN MASCHINE



1A	NC SETS	2a	MEMORY/CALCULATION ELEMENT
1	INTERPOLATOR ELEMENT	3	FINE INTERPOLATOR
2	NOMINAL POSITION VALUE FILTER	4	CLOSED LOOP POSITION CONTROL

(57) **Abstract:** The invention relates to a method and to a circuitry for producing nominal position values for a closed loop position control of a numerically continuous path controlled machine. According to the invention, an interpolator element presets nominal position values with a defined inperpolator clock rate that are digitally filtered in a nominal position value filter that is mounted downstream of the interpolator element. The filtered nominal position values are transmitted to the closed loop position control which controls the movement on a continuous path with a defined position control clock rate. The interpolator clock rate is adjusted on the basis of the dynamic characteristics of the machine in such a manner that the filtered nominal position values that are transmitted by the closed loop position control do not cause any natural vibrations of the machine.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/18622 A1

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren sowie eine Schaltungsanordnung zur Erzeugung von Lagesollwerten für einen Lageregelkreis einer numerisch bahngesteuerten Maschine angegeben. Von einer Interpolatoreinheit werden hierbei Lagesollwerte mit einer bestimmten Interpolator-Taktfrequenz vorgegeben, die in einem nachgeordneten Lagesollwert-Filter einer digitalen Filterung unterzogen werden. Anschliessend werden die gefilterten Lagesollwerte an den Lageregelkreis übergeben, welcher damit die Bewegung auf einer Bahnkurve mit einer bestimmten Lageregelungs-Taktfrequenz steuert. Die Interpolator-Taktfrequenz wird in Abhängigkeit der dynamischen Charakteristika der Maschine derart eingestellt, dass durch die dem Lageregelkreis übergebenen, gefilterten Lagesollwerte keine Eigenschwingungen der Maschine angeregt werden.

Verfahren und Schaltungsanordnung zur Erzeugung von Lagesollwerten für einen Lageregelkreis einer numerisch bahngesteuerten Maschine

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Lagesollwerten für einen Lageregelkreis einer numerisch bahngesteuerten Maschine nach dem Oberbegriff des Anspruches 1. Gegenstand der Erfindung ist ferner eine Schaltungsanordnung zur Erzeugung von Lagesollwerten für einen Lageregelkreis einer numerisch bahngesteuerten Maschine nach dem Oberbegriff des Anspruches 8.

In numerisch bahngesteuerten Werkzeugmaschinen oder Robotern erfolgt die Erzeugung von Lagesollwerten als Sollwert-Vorgaben bzw. Führungsgrößen für die Lageregelkreise der jeweiligen Antriebe üblicherweise in vorgeordneten Interpolatoreinheiten. Den Interpolatoreinheiten werden zu diesem Zweck die gewünschten geometrischen Achsbewegungsfunktionen und Geschwindigkeitsprofile eingangsseitig vorgegeben. Ausgangsseitig liefert die Interpolatoreinheit diskrete Folgen von Lagesollwerten bzw. Abtastwerten auf einer Bahnkurve. Die Lagesollwerte werden mit einer definierten, üblicherweise festen Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO} als Führungsgrößen an

den nachgeordneten Lageregelkreis ausgegeben. Ferner werden die von der Interpolatoreinheit erzeugten Lagesollwerte vor der Übergabe an den Lageregelkreis noch in einem Lagesollwert-Filter gefiltert, in der Regel in Form einer digitalen Tiefpassfilterung. Dies erfolgt, um die Maschine nicht zu unerwünschten Eigenschwingungen durch die Achsantriebsssysteme anzuregen und damit ggf. die Bearbeitungsqualität zu reduzieren.
Im Zusammenhang mit derartigen Varianten zur Erzeugung von Lagesollwerten in numerisch bahngesteuerten Maschinen sei z.B. auf die DE 43 03 090 A1 verwiesen.

Die Filterung im Lagesollwert-Filter wird hierbei üblicherweise so ausgelegt, dass im Spektrum der an den Lageregelkreis übergebenen Lagesollwerte bzw. Führungsgrößen möglichst keine Frequenzen im Bereich der Resonanzfrequenz f_{RES} der jeweiligen Maschine liegen bzw. in einem entsprechenden Resonanzfrequenzband B_{RES}. Andernfalls würde durch die Eigenschwingungen in den Maschinenachsen eine verminderte Oberflächenqualität im bearbeiteten Werkstück resultieren. Über eine Bandbegrenzung der Führungsgrößen in Form einer Tiefpassfilterung wird deshalb sichergestellt, dass das jeweilige Lagesollwert-Filter diejenigen Frequenzanteile sperrt, die größer als eine geeignet gewählte Maschinen-Nutzfrequenz f_N sind. Die entsprechende Maschinen-Nutzfrequenz f_N des Lagesollwert-Filters wird hierbei in Abhängigkeit der jeweiligen Resonanzfrequenz f_{RES} bzw. des Resonanzfrequenzbandes B_{RES} gewählt.

Im Falle von besonders niedrigen Resonanzfrequenzen f_{RES}, etwa $f_{RES} \approx$ 20Hz, resultiert bei der Auslegung der digitalen Lagesollwert-Filter jedoch ein zunehmender Rechenaufwand, um die gewünschte Filterwirkung zu erzielen.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Erzeugung von Lagesollwerten für einen Lageregelkreis einer numerisch bahngesteuerten Maschine anzugeben, über das sich für unterschiedlichste Maschinentypen ohne großen Aufwand

Bahnfehler vermeiden lassen, die aufgrund angeregter Eigenschwingungen der Maschine resultieren.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen im kennzeichnenden Teil des Anspruches 1 gelöst.

Ferner wird diese Aufgabe durch eine Schaltungsanordnung mit den Merkmalen im kennzeichnenden Teil des Anspruches 8 gelöst.

Weiterbildungen und vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemässen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung sind den jeweils abhängigen Ansprüchen zu entnehmen.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird nunmehr nicht primär das eingesetzte Lagesollwert-Filter an die jeweiligen dynamischen Charakteristika der Maschine – insbesondere an deren Resonanzfrequenz – angepasst, vielmehr wird auch die jeweilige Interpolator-Taktfrequenz bzw. die Interpolator-Taktdauer in Abhängigkeit der dynamischen Charakteristika der Maschine gezielt eingestellt, um die Anregung unerwünschter Eigenschwingungen zu vermeiden. Auf diese Art und Weise lässt sich der ansonsten für den gleichen Filtereffekt erforderliche Rechenaufwand im Lagesollwert-Filter vermeiden.

Da die erfindungsgemäßen Maßnahmen im Fall niedriger Resonanzfrequenzen i.w. eine Vergrößerung der Interpolator-Taktdauern bzw. einer Verkleinerung der Interpolator-Taktfrequenzen darstellen, steht nunmehr auf Seiten der Interpolatoreinheit auch eine entsprechend höhere Rechenleistung für andere Aufgaben zur Verfügung. Hierzu zählt etwa die Erzeugung von Lagesollwerten für noch mehr Maschinenachsen etc..

Als vorteilhaft erweist sich ferner der Einsatz eines Feininterpolators zwischen dem Lagesollwert-Filter und dem Lageregelkreis im erfindungsgemäßen Verfahren bzw. in der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung. Über den Feininterpolator werden hierbei Abtastwerte auf der Bahnkurve in dem

Zeitraster erzeugt, in dem sie der nachgeordnete Lageregelkreis benötigt. Dabei ist besonders von Vorteil, dass durch den Feininterpolator die Interpolator-Taktfrequenz vom nachgeordneten Lageregelkreis, insbesondere der Lageregelungs-Taktfrequenz, entkoppelt ist; in der Regel liegt aber ein festes Verhältnis zwischen der Lageregelungs-Taktfrequenz und der Interpolator-Taktfrequenz vor.

Weitere Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der beiliegenden Figuren.

Dabei zeigt

Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung,

Fig. 2a, 2b das Durchlassverhalten digitaler Lagesollwert-Filter mit einer unterschiedlichen Anzahl von Filterkoeffizienten.

Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild einer möglichen erfindungsgemässen Schaltungsanordnung. Im nachfolgenden Ausführungsbeispiel wird davon ausgegangen, dass das erfindungsgemässe Verfahren an einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine angewandt wird. Es besteht selbstverständlich aber auch die Möglichkeit das erfindungsgemässe Verfahren bei einem Roboter anzuwenden. Zur Vereinfachung wird lediglich eine Achse der Maschine exemplarisch erläutert. Das erfindungsgemässe Verfahren und die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung werden aber üblicherweise für alle interpolierten Achsen einer Maschine vorgesehen.

Als wesentliche Komponenten der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung sind hierbei eine Interpolatoreinheit 1, ein digitales Lagesollwert-Filter 2 sowie ein Lageregelkreis 4 aufzuführen. Als weitere Bestandteile der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform ist noch eine dem Lagesollwert-Filter zugeordnete Einheit 2a sowie ein Feininterpolator 3 zu erwähnen. Die Ein-

heit 2a kann je nach Ausführungsform hierbei entweder als Speichereinheit oder aber als Berechnungseinheit ausgebildet sein; auf die genaue Funktion der optionalen Einheit 2a sowie auf die Funktion des Feininterpolators 3 wird später noch detaillierter eingegangen.

Der Interpolatoreinheit 1 werden eingangsseitig die gewünschten geometrischen Achsbewegungsfunktionen der Maschine z.B. in Form von NC-Sätzen vorgegegeben. Die Interpolatoreinheit 1 erzeugt auf Basis der Eingangs-Informationen Lagesollwerte für die jeweilige Maschinen-Achse, die mit einer bestimmten Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO} bzw. Interpolator-Taktdauer T_{IPO} dem nachgeordneten Lagesollwert-Filter 2 übergeben werden.

Im Lagesollwert-Filter 2 werden die von der Interpolatoreinheit 1 vorgegegebenen Lagesollwerte anschließend in bekannter Art und Weise einer digitalen Filterung unterzogen. Das Lagesollwert-Filter 2 ist hierbei vorzugsweise als FIR-Filter ausgebildet und besitzt eine Ordnung zwischen 5 und 1024. Über die Filterung soll insbesondere vermieden werden, dass im Spektrum der an den Lageregelkreis 4 übergebenen Lagesollwerte bzw. Führungsgrößen noch Frequenzkomponenten im Bereich der Resonanzfrequenz f_{RES} der jeweiligen Maschine enthalten sind, die die Maschine zu unerwünschten Eigenschwingungen anregen würden. Zur Bandbegrenzung der Führungsgröße Lagesollwert wird im Lagesollwert-Filter 2 vorzugsweise eine Tiefpassfilterung vorgenommen. Dies bedeutet, dass alle Signalanteile herausgefiltert werden, die größer und gleich einer Maschinen-Nutzfrequenz f_N sind, die sich aus der niedrigsten maschinenspezifischen Resonanzfrequenz f_{RES} bzw. dem zugehörigen machinenspezifischen Resonanzfrequenzband Δf_{RES} ableitet. In der Praxis wird die Maschinen-Nutzfrequenz f_N beispielsweise als die Hälfte der niedrigsten Resonanfrequenz gewählt, d.h. $f_N \approx ½ f_{RES}$.

In den beiden Figuren 2a und 2b ist das Durchlassverhalten zweier digitaler Lagesollwert-Filter veranschaulicht, die ab der Maschinen-Nutzfrequenz f_N = 15Hz als Tiefpass und damit für höhere Frequenzen sperrend wirken. Die beiden Lagesollwert-Filter unterscheiden sich hierbei in der Anzahl n_{Koeff} von

Filterkoeffizienten; so umfasst das zu Fig. 2a gehörende Lagesollwert-Filter insgesamt n_{Koeff} = 32 Filterkoeffizienten, während das zu in Fig. 2b gehörende Lagesollwert-Filter n_{Koeff} = 64 Filterkoeffizienten aufweist. Deutlich ersichtlich ist hierbei aus dem Vergleich von Fig. 2a und Fig. 2b, dass das Lagesollwert-Filter mit der größeren Anzahl n_{Koeff} = 64 von Filterkoeffizienten eine bessere Filterwirkung ab der Maschinen-Nutzfrequenz f_N aufweist.

Die gefilterten Lagesollwerte liefern nach der entsprechenden Weiterverarbeitung im Lageregelkreis 4 letzlich eine geringfügig modifizierte Bahnkurve, die an Stellen mit starken Krümmungen, wie etwa Ecken, etwas verrundet ist.

Über den Lageregelkreis 4 erfolgt in bekannter Art und Weise die Steuerung der Bewegung auf einer Bahnkurve auf Basis der eingangsseitig übergebenen Führungsgrößen respektive Lagesollwerte mit einer bestimmten Lageregelungs-Taktfrequenz f_{LR} bzw. einer Lageregelungs-Taktdauer T_{LR}. Eine typische Lageregelungs-Taktfrequenz beträgt etwa f_{LR} = 2kHz, die zugehörige Lageregelungs-Taktdauer T_{LR} = 500µsec.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird nunmehr neben bzw. ergänzend zum Lagesollwert-Filter 2 auch die Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO} bzw. die Interpolator-Taktdauer T_{IPO} in Abhängigkeit der dynamischen Charakteristika der Maschine derart eingestellt, dass durch die dem Lageregelkreis 4 übergebenen Führungsgrößen bzw. Lagesollwerte keine Eigenschwingungen der Maschine angeregt werden. Das entsprechende erfindungsgemäße Vorgehen soll nachfolgend anhand eines einfachen Beispieles erläutert werden.

Hierbei sei wiederum von einer Maschinen-Nutzfrequenz f_N = 15Hz der jeweiligen Maschine ausgegangen. Die Lageregelungs-Taktdauer beträgt T_{LR} = 500µsec. Beim üblichen Vorgehen gemäß dem Stand der Technik sei desweiteren eine Interpolations-Taktdauer von T_{IPO} = 3msec vorgesehen. Um sicherzustellen, dass im Spektrum der an den Lageregler 4 übergebenen Lagesollwerte keine Frequenzanteile größer oder gleich f_N = 15Hz enthalten sind, wird ein digitales Lagesollwert-Filter 2 mit 64 Flterkoeffizienten

eingesetzt, welches ab der Maschinen-Nutzfrequenz f_N = 15Hz sperrt. Wie aus den beiden oben diskutierten Figuren 2a und 2b ersichtlich war, werden zur Erzielung einer hinreichenden Filterwirkung n_{Koeff} = 64 Filterkoeffizienten benötigt, um die entsprechende Steilheit der Durchlasscharakteristik im Bereich der Maschinen-Nutzfrequenz f_N zu gewährleisten. Über das entsprechende Lagesollwert-Filter wird demzufolge über ein Filterungs-Zeitintervall $T_F = T_{IPO} * n_{Koeff}$ = 3msec * 64 = 192msec gefiltert bzw. gemittelt. Für eine Filterung über dieses Filterungs-Zeitintervall T_F wird eine Filterungs-Rechenzeit t_{cal} = 200µsec benötigt.

Erfindungsgemäß wurde nunmehr erkannt, dass die gleiche Filterwirkung auch mit einem deutlich weniger aufwendigen Lagesollwert-Filter erreicht werden kann. Hierzu wird ein Lagesollwert-Filter mit einer Anzahl n_{Koeff} = 32 Filterkoeffizienten verwendet, gleichzeitig aber die Interpolator-Taktdauer T_{IPO} auf T'_{IPO} = 6msec vergrößert. Da lediglich 32 Filterkoeffizienten des Lagesollwert-Filters berechnet werden müssen, verringert bzw. halbiert sich die hierzu erforderliche Filterungs-Rechenzeit t_{cal} auf t_{cal} = 100µsec. Es ist demzufolge in diesem Fall mit insgesamt lediglich 32 Filterkoeffizienten und entsprechend verringertem Rechenaufwand die gleiche Filterwirkung zu erzielen (siehe Fig. 2b) wie vorher mit insgesamt 64 Filterkoeffizienten. Dies wird letztlich dadurch erreicht, dass neben dem Lagesollwert-Filter auch die Interpolator-Taktfrequenz T_{IPO} in Abhängigkeit des dynamischen Charakteristika der Maschine definiert eingestellt wird, um durch die dem Lageregelkreis übergebenen Lagesollwerte keine Eigenschwingungen der Maschine anzuregen. Gemäß dem obigen Beispiel wurde zu diesem Zweck insbesondere das Filterungs-Zeitintervall T_F zum Erreichen einer gewünschten Filterwirkung bei verringerter Filerkoeffizienten-Anzahl n_{Koeff} konstant gehalten; hierzu wurde entsprechend die Interpolator-Taktdauer T_{IPO} vergrößert respektive die Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO} verringert.

Erfindungsgemäß wurde demnach allgemein erkannt, dass sich bei einer vorgegeben Interpolator-Taktdauer T_{IPO} ein zur Erzielung einer bestimmten Filterwirkung benötigtes Lagesollwertfilter mit n_{Koeff} Filterkoeffizienten durch ein Lagesollwertfilter mit mit $n'_{Koeff} = n_{Koeff}/p$ Filterkoeffizienten ersetzen lässt

(p = 2, 3...), wenn eine modifizierte Interpolator-Taktdauer $T`_{IPO}$ gemäß $T'_{IPO} = p * T_{IPO}$ gewählt wird. Auch die Interpolator-Taktfrequenz f'_{IPO} wird demzufolge in Abhängigkeit der jeweiligen dynamischen Charakteristika der Maschine eingestellt, um durch dem Lageregelkreis übergebenen, gefilterten Lagesollwerte keine Eigenschwingungen der Maschine anzuregen.

Werden aufgrund des erfindungsgemäßen Vorgehens beispielsweise aufgrund einer niedrigen Resonanzfrequenz f_{RES} der Maschine bei schnellen Positionsänderungen Resonanzfrequenzen der Maschine angeregt, so ist es nicht erforderlich, dass die Interpolatoreinheit 1 mit einer hohen Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO} Lagesollwerte bzw. Abtastwerte der Bahnkurve ermittelt. Diese Abtastwerte müßten zur Vermeidung von Eigenschwingungen der Maschine, die zu erheblichen Bahnabweichungen führen, ohnehin im Lagesollwert-Filter 2 geglättet werden. Die Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO} kann somit verringert werden und die dadurch frei werdende Rechenleistung anderen Anwendungen der Steuerung zur Verfügung gestellt werden, ohne dass dadurch zusätzliche Bahnabweichungen resultieren.

Im umgekehrten Fall, in dem die Maschine eine hohe Resonanzfrequenz f_{RES} bzw. einen großen linearen Frequenzbereich aufweist, besteht die Möglichkeit die Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO} zu erhöhen. Dies ermöglicht es, eine Maschine entsprechend dynamischer zu betreiben, was wiederum kürzere Bearbeitungszeiten zur Folge hat.

Die tiefpassgefilterte Folge von Lagesollwerten wird im vorliegenden Beispiel anschließend an den Feininterpolator 3 übergeben. Im Fein-Interpolator 3 werden Lagesollwerte im Zeitraster der Lageregelung erzeugt und anschließend an den Lageregler 4 übergeben.

Die Zahl k der zusätzlich im Feininterpolator 3 zu ermittelnden Lagesollwerte ergibt sich aus dem Verhältnis aus der Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO} und der Lageregelungs-Taktfrequenz f_{LR}, d.h. $k = f_{IPO} / f_{LR}$. Unter Berücksichtigung eines möglichst geringen Rechenaufwandes wird vorteilhafterweise die Interpolator-Taktdauer T_{IPO} als ganzzahliges Vielfaches der Lageregelungs-

Taktdauer T_{LR} gewählt. Dadurch wird sichergestellt, dass zwischen zwei in der Interpolatoreinheit 1 ermittelten Abtastwerten der Bahnkurve eine ganzzahlige Anzahl k zusätzlicher, vom Fein-Interpolator 3 ermittelter Abtastwerte liegt.

Auf Details bezüglich des Lagereglers 4 sei an dieser Stelle nicht weiter eingegangen; dieser kann z.B. Teil einer bekannten kaskadierten Regelungsstruktur für eine Werkzeugmaschine oder einen Roboter sein.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist wie erläutert die Kenntniss bestimmter dynamischer Maschinencharakteristika nötig, insbesondere die Kenntniss der jeweils niedrigsten Resonanzfrequenz f_{RES} der Maschine. Die Ermittlung der Resonanfrequenz f_{RES} kann, nach einem Anstoss durch den Benutzer, von der Steuerung automatisch durchgeführt werden. Alternativ kann die niedrigste Resonanzfrequenz f_{RES} der Maschine auch vom Benutzer vorgegeben werden. Der Wert für die niedrigste Resonanzfrequenz f_{RES} der Maschine wird dann in einem Speicher der Steuerung gespeichert, auf den die Steuerung bei Bedarf zugreifen kann.

Im regulären Betrieb werden die dynamischen Charakteristika der Maschine ausgewertet. Sobald in einem NC-Programm für die Steuerung einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine ein Befehl auftritt, der eine Bahnbewegung der Maschine bewirkt, wird diese Bewegung auf die Maschinenachsen aufgeteilt, entlang denen die Servomotore ein Verfahren von Maschinenkomponenten ermöglichen. Für jeden Servomotor erfolgt in der Interpolatoreinheit dann eine Berechnung der Punkte auf der Bahnkurve, die der Lageregelung der einzelnen Servomotore als Führungsgrößen bzw. Lagesollwerte vorgegeben werden. Die Ermittlung der Lagesollwerte erfolgt in der Interpolatoreinheit 1 mit der Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO}, die wie erläutert abhängig von den dynamischen Charakteristika der Maschine, also insbesondere abhängig von der niedrigsten Resonanzfrequenz eingestellt wird.

Das Spektrum der Folge der von der Interpolatoreinheit 1 berechneten Abtastwerte der Bahnkurve kann für eine im wesentlichen stetige Bewegung

schwerpunktmässig niederfrequente Frequenzanteile oder bei einer unstetigen Bewegung schwerpunktmässig hochfrequente Frequenzanteile aufweisen. Liegen hochfrequente Frequenzanteile vor, die im Bereich der Resonanzfrequenz der Maschine sind, müssen diese Frequenzanteile gedämpft bzw. gefiltert werden, damit die Maschine nicht zu Eigenschwingungen angeregt wird.

Zunächst erfolgt diese Dämpfung dadurch, dass die Interpolatoreinheit 1 ein entsprechendes Geschwindigkeitsprofil für die Bahnkurve erzeugt. Gemäß dem Shannonschen Abtasttheorem muß die Abtastfrequenz mindestens doppelt so groß gewählt werden, wie die maximale Frequenz im Spektrum der abgetasteten Bahnkurve. Wird für die Abtastung der Bahnkurve in der Interpolatoreinheit 1 beispielsweise die Resonanzfrequenz f_{RES} der Maschine benutzt, weisen die ausgegebenen Abtastwerte der Interpolatoreinheit 1 Frequenzanteile bis maximal zur halben Resonanzfrequenz der Maschine auf. Einen gewissen Abstand zwischen der Resonanzfrequenz der Maschine und der maximalen Frequenz des Spektrums des Signals einzuhalten ist sinnvoll, da bei derzeit gängigen Maschinentypen keine schmale Resonanzfrequenz f_{RES}, sondern ein Resonanzfrequenzband Δf_{RES} vorliegt, in dem es zu angeregten Eigenschwingungen der Maschine kommen kann.

Wie bereits kurz erläutert, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Interpolator-Taktdauer T_{IPO} als ganzzahliges Vielfaches, der Lageregelungs-Taktdauer T_{LR} zu wählen. Dies bedingt jedoch, dass die Abtastung mit der Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO} nicht mit beliebiger Frequenz erfolgen kann, sondern auf ganzzahlige Vielfache der Lageregelungs-Taktfrequenz f_{LR} beschränkt ist. Um eine Verarbeitung mit maximaler Geschwindigkeit zu gewährleisten, wird in der Interpolatoreinheit 1 die nächst grössere Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO} gewählt.

Um eine möglichst genaue Begrenzung des Spektrums der Folge der Abtastwerte auf die für eine Maschine noch zulässige maximale Frequenz zu erreichen, ist eine zusätzliche Lagesollwert-Filterung erforderlich. Dadurch wird letztlich eine weitere Dämpfung realisiert, die eine genauere Begrenzung der maximal zulässigen Frequenz des Spektrums der Folge der Ab-

tastwerte auf Frequenzen unterhalb der Resonanzfrequenz f_{RES} bzw. Nutzfrequenz f_N der Maschine durch eine Tiefpassfilterung ermöglicht.

Zur Lagesollwert-Filterung ist in einer ersten, bevorzugten Variante vorgesehen, die Einheit 2a als Berechnungseinheit auszubilden, in der individuell Filterkoeffizienten berechnet werden.
Alternativ wäre es auch möglich, mehrere Filterkoeffizientensätze für verschiedene Resonanzfrequenzen f_{RES} in einer als Speichereinheit ausgebildeten Einheit 2a abzuspeichern, die dem Lagesollwert-Filter 2 zugeordnet ist. Werden etwa mehrere Filterkoeffizientensätze in der Speichereinheit 2a abgespeichert, so kann der jeweils benötigte Filterkoeffizientensatz eindeutig identifiziert werden, da jedem Filterkoeffizientensatz in der Speichereinheit 2a eine Identifizierungsröße ID zugeordnet ist, die dem Quotienten aus der Resonanzfrequenz f_{RES} der Maschine und der Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO} entspricht, d.h. $ID = f_{RES}/f_{IPO}$.

Nachdem derart Signalanteile im Spektrum der Lagesollwerte beseitigt wurden, die Eigenschwingungen der Maschine verursachen könnten, ist es im dargestellten Beispiel ferner erforderlich, dass anschließend durch eine Feininterpolation Lagesollwerte für die Lageregelung mit der Lageregelungs-Taktfrequenz f_{LR} bereitgestellt werden. Wie bereits erläutert, wird die Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO} vorteilhaft als ein ganzzahliges Vielfaches der Lageregelungs-Taktfrequenz f_{LR} gewählt. Dadurch ist sichergestellt, dass zwischen zwei gelieferten Abtastwerten der Interpolatoreinheit 1 ein ganzzahliges Vielfaches der Lageregelungs-Taktdauer T_{LR} liegt, so dass durch den Quotienten aus Interpolator-Taktfrequenz f_{IPO} und Lageregelungs-Taktfrequenz f_{LR} die Anzahl der im Feininterpolator 4 durchzuführenden Interpolationen als ganze Zahl angegeben werden kann.

Neben dem erläuterten Ausführungsbeispiel existieren selbstverständlich auch noch weitere Möglichkeiten zur Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung.

Ansprüche

========

1. Verfahren zur Erzeugung von Lagesollwerten für einen Lageregelkreis einer numerisch bahngesteuerten Maschine, wobei
   - von einer Interpolatoreinheit Lagesollwerte mit einer bestimmten Interpolator-Taktfrequenz vorgegeben werden,
   - die von der Interpolatoreinheit vorgegebenen Lagesollwerte in einem Lagesollwert-Filter einer digitalen Filterung unterzogen werden und
   - anschließend die gefilterten Lagesollwerte an den Lageregelkreis übergeben werden, welcher damit die Bewegung auf einer Bahnkurve mit einer bestimmten Lageregelungs-Taktfrequenz steuert,

   dadurch gekennzeichnet, dass

   neben dem Lagesollwert-Filter (2) auch die Interpolator-Taktfrequenz (f_{IPO}) in Abhängigkeit der dynamischen Charakteristika der Maschine derart eingestellt wird, dass durch die dem Lageregelkreis (4) übergebenen, gefilterten Lagesollwerte keine Eigenschwingungen der Maschine angeregt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als dynamisches Charakteristikum der Maschine deren niedrigste Resonanzfrequenz (f_{RES}) herangezogen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Einstellung der Interpolator-Taktfrequenz (f_{IPO}) auch die Lageregelungs-Taktfrequenz (f_{LR}) berücksichtigt wird und die Interpolator-Taktfrequenz (f_{IPO}) als ganzzahliger Bruchteil der Lageregelungs-Taktfrequenz (f_{LR}) gewählt wird oder umgekehrt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die über den Lagesollwert-Filter (2) gefilterten Lagesollwerte vor der Übergabe an den Lageregelkreis (4) desweiteren noch einer Feininterpolation in einem Feininterpolator (3) unterzogen werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass vom Feininterpolator (3) Lagesollwerte mit der Lageregelungs-Taktfrequenz (f_{LR}) an den Lageregelkreis (4) übergeben werden.

6. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass im Lagesollwert-Filter (2) ein Filtersatz mit Filterkoeffizienten für eine bestimmte Resonanzfrequenz (f_{RES}) und eine eingestellte Interpolator-Taktfrequenz (f_{IPO}) berechnet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in einer dem Lagesollwert-Filter (2) zugeordneten Speichereinheit ein Filtersatz mit Filterkoeffizienten für eine bestimmte Resonanzfrequenz (f_{RES}) und eine eingestellte Interpolator-Taktfrequenz (f_{IPO}) abgespeichert wird.

8. Schaltungsanordnung zur Erzeugung von Lagesollwerten für einen Lageregelkreis einer numerisch bahngesteuerten Maschine, bestehend aus

- einer Interpolatoreinheit zur Vorgabe von Lagesollwerten mit einer bestimmten Interpolator-Taktfrequenz und
- einem Lagesollwert-Filter zur digitalen Filterung der von der Interpolatoreinheit vorgegebenen Lagesollwerte und

- einem Lageregelkreis, der die gefilterten Lagesollwerte derart verarbeitet, dass darüber eine Bewegung auf einer Bahnkurve mit einer bestimmten Lageregelungs-Taktfrequenz steuerbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

neben dem Lagesollwert-Filter (2) auch die Interpolator-Taktfrequenz (f_{IPO}) der Interpolatoreinheit (1) in Abhängigkeit der dynamischen Charakteristika der Maschine derart eingestellt ist, dass durch die dem Lageregelkreis (4) übergebenen, gefilterten Lagesollwerte keine Anregung von Eigenschwingungen der Maschine resultiert.

9. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Lagesollwert-Filter (2) als FIR-Filter ausgebildet ist, über das eine Tiefpassfilterung resultiert.

10. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Lagesollwert-Filter (2) eine Speichereinheit umfasst, in der unterschiedliche Filterkoeffizientensätze für unterschiedliche Maschinen-Resonanzfrequenzen (f_{RES}) abgespeichert sind, die jeweils als dynamisches Charakteristikum zur Einstellung der Interpolator-Taktfrequenz (f_{IPO}) dienen.

11. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Lagesollwert-Filter (2) eine Berechnungseinheit zur Berechnung von Filterkoeffizientensätzen für die jeweilige Maschinen-Resonanzfrequenz umfasst, welche jeweils als dynamisches Charakteristikum zur Einstellung der Interpolator-Taktfrequenz dient.

12. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Lagesollwert-Filter (2) und dem Lageregelkreis (4) desweiteren ein Feininterpolator (3) angeordnet ist, über den vor der Übergabe an den Lageregelkreis (4) desweiteren noch eine Feininterpolation der Lagesollwerte erfolgt.

13. Schaltungsanordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Feininterpolator (4) derart ausgebildet ist, dass dieser Lagesollwerte mit der Lageregelungs-Taktfrequenz (f_{LR}) an den Lageregelkreis (4) übergibt.

5

FIG. 1

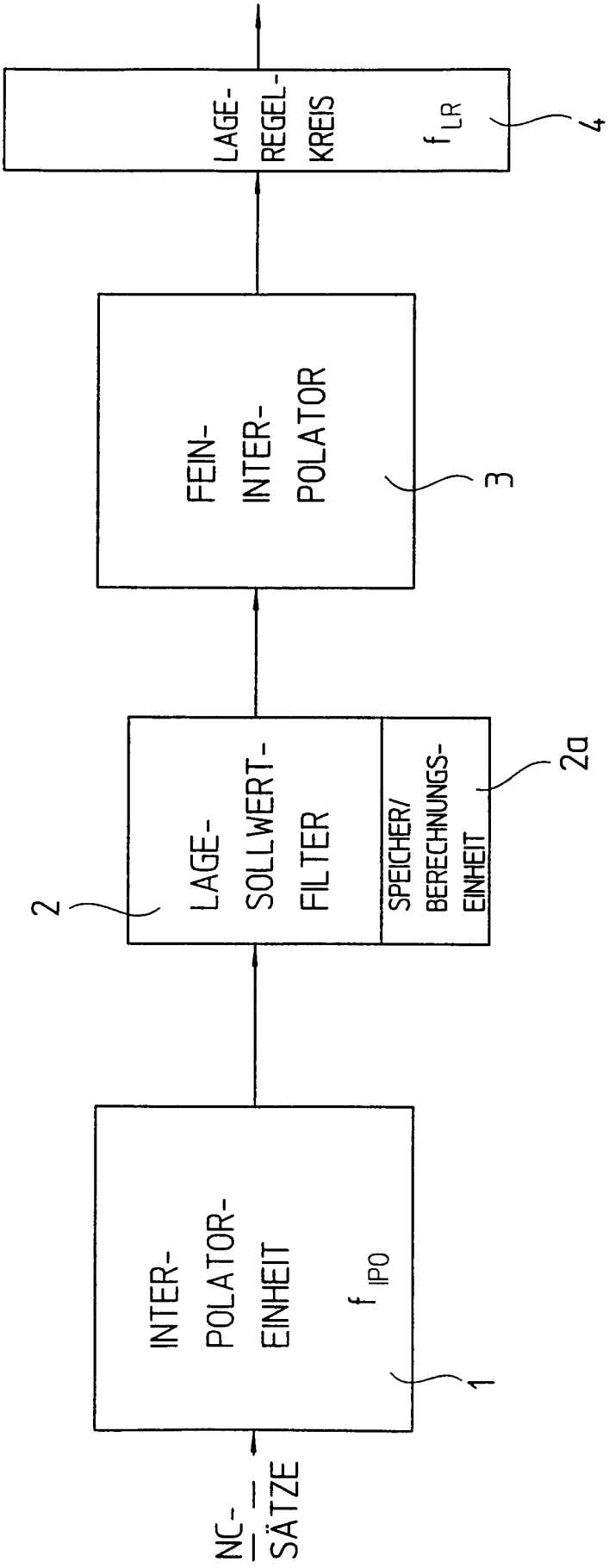

NC-SÄTZE
INTER-POLATOR-EINHEIT
f_{IPO}
1
LAGE-SOLLWERT-FILTER
SPEICHER/ BERECHNUNGS-EINHEIT
2
2a
FEIN-INTER-POLATOR
3
LAGE-REGEL-KREIS
f_{LR}
4

Fig. 2a

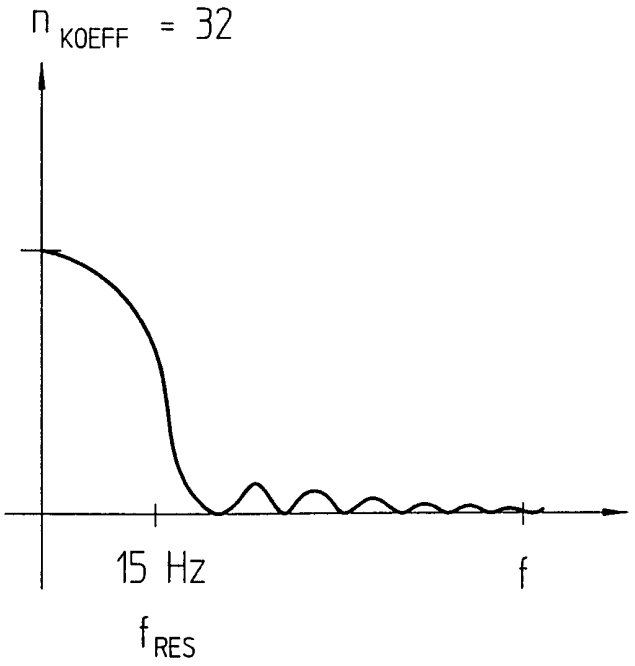
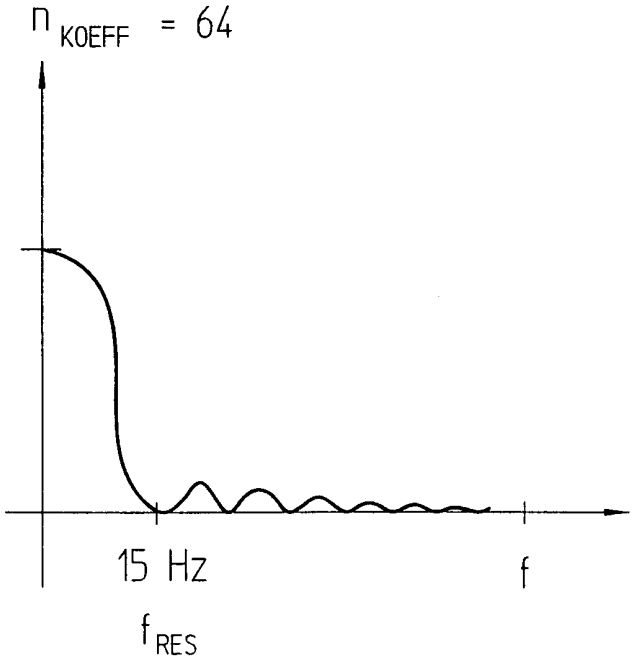


Fig. 2b



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 00/08544

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G05B19/4103

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 98 15880 A (SIEMENS AG ;PAPIERNIK WOLFGANG (DE)) 16 April 1998 (1998-04-16) page 1, line 33 -page 4, line 6 page 4, line 25 -page 11, line 1 ---	1-4,8, 10-13
A	US 5 541 864 A (KRONE ANDREW W ET AL) 30 July 1996 (1996-07-30) column 2, line 60 -column 3, line 54 ---	1,8,9
A	EP 0 469 617 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 5 February 1992 (1992-02-05) page 3, line 44 -page 4, line 39 ---	1,8,9
A	US 4 214 192 A (BROMER GUNTER ET AL) 22 July 1980 (1980-07-22) the whole document ---	1-13

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
12 February 2001	19/02/2001

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Hurtado-Albir, J

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 00/08544

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication,where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 603 286 A (SAKANO TETSURO) 29 July 1986 (1986-07-29) the whole document column 1, line 62 -column 2, line 64	1-13
A	DE 43 03 090 A (BOSCH GMBH ROBERT) 11 August 1994 (1994-08-11) cited in the application the whole document	1-13

1

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/EP 00/08544

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9815880 A	16-04-1998	EP 0931283 A	28-07-1999
US 5541864 A	30-07-1996	JP 7297680 A	10-11-1995
EP 0469617 A	05-02-1992	JP 2504307 B	05-06-1996
		JP 4091689 A	25-03-1992
		DE 69116461 D	29-02-1996
		DE 69116461 T	12-09-1996
		HK 1007039 A	26-03-1999
		KR 9409206 B	01-10-1994
		US 5404418 A	04-04-1995
US 4214192 A	22-07-1980	DE 2659090 A	06-07-1978
US 4603286 A	29-07-1986	JP 59168513 A	22-09-1984
		EP 0139010 A	02-05-1985
		WO 8403779 A	27-09-1984
DE 4303090 A	11-08-1994	CH 687165 A	30-09-1996
		FR 2701128 A	05-08-1994
		JP 6250718 A	09-09-1994

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 00/08544

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G05B19/4103

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 98 15880 A (SIEMENS AG ;PAPIERNIK WOLFGANG (DE)) 16. April 1998 (1998-04-16) Seite 1, Zeile 33 -Seite 4, Zeile 6 Seite 4, Zeile 25 -Seite 11, Zeile 1 ---	1-4,8, 10-13
A	US 5 541 864 A (KRONE ANDREW W ET AL) 30. Juli 1996 (1996-07-30) Spalte 2, Zeile 60 -Spalte 3, Zeile 54 ---	1,8,9
A	EP 0 469 617 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 5. Februar 1992 (1992-02-05) Seite 3, Zeile 44 -Seite 4, Zeile 39 ---	1,8,9
A	US 4 214 192 A (BROMER GUNTER ET AL) 22. Juli 1980 (1980-07-22) das ganze Dokument ---	1-13

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

[X] Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
12. Februar 2001	19/02/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Hurtado-Albir, J

1

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 00/08544

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 603 286 A (SAKANO TETSURO) 29. Juli 1986 (1986-07-29) das ganze Dokument Spalte 1, Zeile 62 -Spalte 2, Zeile 64	1-13
A	DE 43 03 090 A (BOSCH GMBH ROBERT) 11. August 1994 (1994-08-11) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-13

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 00/08544

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9815880 A	16-04-1998	EP 0931283 A	28-07-1999
US 5541864 A	30-07-1996	JP 7297680 A	10-11-1995
EP 0469617 A	05-02-1992	JP 2504307 B	05-06-1996
		JP 4091689 A	25-03-1992
		DE 69116461 D	29-02-1996
		DE 69116461 T	12-09-1996
		HK 1007039 A	26-03-1999
		KR 9409206 B	01-10-1994
		US 5404418 A	04-04-1995
US 4214192 A	22-07-1980	DE 2659090 A	06-07-1978
US 4603286 A	29-07-1986	JP 59168513 A	22-09-1984
		EP 0139010 A	02-05-1985
		WO 8403779 A	27-09-1984
DE 4303090 A	11-08-1994	CH 687165 A	30-09-1996
		FR 2701128 A	05-08-1994
		JP 6250718 A	09-09-1994